

تصميم عدسة كهروستاتيكية مغمورة

ثلاثية الأقطاب

ندى عبد الفتاح محمد

جامعة بغداد/ كلية العلوم للبنات /قسم الفيزياء

الخلاصة

يتركز البحث الحالي حول تصميم عدسة كهروستاتيكية ثلاثية الأقطاب بأقل زيغ باستخدام طريقة التحليل والتي تعتبر من الطرق الشائعة في تصميم العدسات وبأختيار شكل مناسب لأقطاب هذه العدسة ، ثم دراسة توزيع الجهد على هذه الأقطاب من حل معادلة لابلاس ومن حل معادلة الشعاع المحوري لإيجاد مسار الجسيمات والذي يحقق معادلة الجهد المفروضة. في هذا البحث تم تصميم عدسة كهروستاتيكية مغمورة حيث تم الحصول على شكل الأقطاب للعدسة ببعدين بأستخدام حلول معادلة لابلاس . وقد بينت نتائج البحث قيم قليلة للزيغين الكروي واللوني والتي تعطي مؤشرا على كفاءة تصميم العدسة.

المقدمة :-

إن تصميم منظومة بصرية للجسيمات المشحونة يتطلب معرفة توزيع المجالين الكهربائي والمغناطيسي حيث يمكن تقسيم المجالات إلى مجالات مستقرة ومجالات غير مستقرة . ان تقنية اسنخدام الحزم الالكترونية في التطبيقات العلمية قديمة حيث بدأت في مطلع القرن السابق وارتبطت مع انظمة البصریات الالكترونية، يعد موضوع البصریات الالكترونية موضوعا حديثا نسبيا حيث ان اول من اثبت امكانية تكوين صورة بوساطة الالكترونات هو H.Bush عام 1926 [1]. حيث وضع معادلة لحساب مسار الجسيمات المشحونة واستخدمها في مجال العدسات الكهروستاتيكية [2]. وفي عام 1933 قام الباحثان Johanson and Scherzer بأشتقاق قانون لحساب البعد البؤري للعدسات الكهروستاتيكية [3]. تم تصميم عدسة كهروستاتيكية مغمورة ثلاثية الأقطاب بأقل زيغ باستخدام طريقة التحليل تعتبر العدسات الكهروستاتيكية المغمورة والتي صمم احد انواعها في هذا البحث من انواع العدسات المهمة في تطبيقات البصریات الالكترونية والتي تمتاز بانها تمتلك جهد جهدين ثابتين ومختلفين عن بعضهما وهي اما ان تكون عدسة معجلة او مبطنة وان هذه العدسات تستخدم لتبئير الحزم الالكترونية [4] .

النظرية :-

هناك عدة طرق لتصميم العدسات الالكترونية احدى هذه الطرق تتم بأختيار اشكال اقطاب ملائمة ذات جهود مناسبة ويحسب توزيع الجهد المحوري لهذه العدسات من حل معادلة لابلاس وبأستخدام طريقة العناصر المحددة (FEM) [5] من المعادلة :-

$$\nabla^2 U = 0 \quad (1)$$

حيث ان U يمثل الجهد الالكتروستاتيكي

لحساب مسار الحزمة الالكترونية يتم حل معادلة الشعاع المحوري المبينة كالاتي. [6]

$$r'' + \frac{U'}{2U} r' + \frac{U''}{4U} r = 0 \quad (2)$$

تصف المعادلة (2) مسار الجسيمات المشحونة في المجال الكهروستاتيكي المتماثل دورانيا وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية

إن نظام العدسة هو متماثل دورانياً (Axially symmetric) حيث يعد نظام الإحداثيات الأسطوانية (Cylinder Coordinate) هو النظام الأكثر ملائمة للمجال المتماثل دورانياً حيث ان المحور Z هو المحور البصري الذي يمثل محور التماثل ويبعد عن الجهد (U) في أي نقطة بثلاث إحداثيات (r, z, θ) أي أن $U = U(r, z, \theta)$ وبما أن النظام متماثل دورانياً فيمكن إهمال θ أي تصبح U هي $U(r, z)$.

في حالة المجالات المتماثلة دورانياً فإن الجهد يحقق معادلة لابلاس في نظام الإحداثيات الإسطوانية ويمكن كتابته بالصيغة [7].

$$\frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} = 0 \quad (3)$$

ويكون حل المعادلة (3) على شكل متسلسلة أسية (power series) ذات اسس زوجية كما يأتي

$$U(r, z) = U_0(z) + u_2(z)r^2 + U_4(z)r^4 + \dots \quad (4)$$

حيث U_2, U_4 تمثل المشقة الثانية والرابعة للجهد U_0 [8].

أن معادلة الشعاع المحوري (paraxial-ray equation) تكتب بالصيغة [9][10]:

$$\frac{\partial^2 r}{\partial z^2} + \frac{U'(z)}{2U(z)} \frac{\partial r}{\partial z} + \frac{U''(z)}{4U(z)} r = 0 \quad (5)$$

أن المعادلة (5) هي المعادلة التي تصف حركة الجسيمات المشحونة في المجال الكهروستاتيكي المتماثل دورانياً وهي معادلة تفاضلية (Differential equation) متجانسة (Homogeneous) خطية (Linear) من الدرجة الثانية (Second-order).

أن قيم الزيوغ (Aberration) والتي تعتبر من العوامل الأساسية والمهمة لأي منظومة بصرية إذ أن من المهم أن يتم تصميم العدسة بحيث تعطي أقل قيم زيوغ للحصول على أفضل صورة، لقد تم في هذا البحث إجراء التصميم للعدسة بحيث يعطي أفضل قيم للزيوغ الكروي واللوني (Spherical and Chromatic Aberration) (Cs,Cc) إذ يعتبر هذان النوعان من الزيوغ هما المهيمنة على الانواع الاخرى لمثل هذا النوع من العدسات ولحسابهما تم استخدام المعادلات التالية [11]:

$$C_s = \frac{U^{-1/2}(z_0)}{16r^4} \int_{z_0}^{z_i} \left[\frac{5}{4} \left(\frac{U''(z)}{U(z)} \right)^2 + \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^4 \right] r^4(z) + \frac{14}{3} \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^3 r'(z)r^3(z) - \frac{3}{2} \left(\frac{U'(z)}{U(z)} \right)^2 r'^2(z)r'(z) \} U^{1/2}(z) dz \quad (6)$$

$$C_c = \frac{U^{1/2}(z_0)}{r_0^2} \int_{z_0}^{z_i} \left[\frac{1}{2} \frac{U'(z)}{U(z)} r'(z)r(z) + \frac{U''(z)}{4U(z)} r^2 \right] U^{-1/2}(z) dz \quad (7)$$

تعتمد الطريقة العكسية على إيجاد قيم الزيوغ للعدسة والتي يمكن تحديدها بإيجاد التوزيع الأمثل للدوال المحورية مثل توزيع الجهد المحوري U(z).

في هذه الطريقة يتم حساب توزيع الجهد الكهروستاتيكي وتوزيع المجال المحوري الذي يحقق معادلة الشعاع المحوري (المعادلة 5) ومن ثم إيجاد الخواص البصرية ومعاملات الزيوغ اللوني والكروي ثم إيجاد شكل القطب الامثل للعدسة والذي يحقق قيم الزيوغ القليلة وذلك بعد ان يتم إيجاد الجهد المحوري ومشتقاته الأولى والثانية .

النتائج والمناقشة :-

تم حساب توزيع الجهد الكهروستاتيكي المحوري U(z) لعدسة مغمورة ثلاثية الاقطاب من حل معادلة لابلاس باستخدام طريقة العناصر المحددة من المعادلة (2) .

الشكل (1) الذي يبين توزيع الجهد المحوري لعدسة مغمورة ثلاثية الاقطاب الذي تم الحصول عليه من حل معادلة لابلاس باستخدام طريقة العناصر المحددة (FEM) حيث ان توزيع الجهد المحوري يمتلك نقطة انقلاب واحدة لذلك وهذا يعني ان العدسة تتكون من قطبين مختلفين الجهد لذلك فإن العدسة هي عدسة مغمورة والشكل (2) يبين مسار الحزمة الالكترونية للعدسة حيث ان مسار الحزمة الالكترونية يبدأ من جانب الجسم Zo وينتهي بجانب الصورة Zi .

الشكل (3) يبين العلاقة بين معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى البعد البؤري في جانب الصورة كدالة لنسب الجهود اذ نلاحظ من الشكل انخفاض معامل الزيغ الكروي نسبة الى البعد البؤري بسبب زيادة نسب الجهود المعجلة وزيادة في معامل الزيغ اللوني نسبة الى البعد البؤري عند

زيادة نسبة الجهود المعجلة بسبب زيادة طاقة الجسيمات المشحونة للعدسة بحيث تصل قيمة الزيغ الكروي الى (3.9) عند نسبة الجهد (15) وقيمة الزيغ اللوني (5.6) عند نفس الجهد .
الشكل (4) يوضح معاملي الزيغ الكروي واللوني نسبة الى طول العدسة كدالة لنسبة الجهود المعجلة حيث نلاحظ انخفاض معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى طول العدسة بسبب زيادة نسبة الجهود بحيث يصل Cs/L الى (1.1) والنسبة Cc/L بحيث يصل الى (1.35) عند نفس نسبة الجهد (15) .

يوضح الجدول (1) يبين قيم معامل الزيغ الكروي واللوني نسبة الى البعد البؤري للعدسة حيث نلاحظ ان قيم الزيوغ الكروية واللونية مقبولة نسبيا كذلك يوضح الجدول (2) مقارنة بسيطة بين قيم معامل الزيغ الكروي واللوني نسبة الى طول العدسة حيث تم اختيار قيمة للزيوغ المستحصل عليها في هذا البحث عند قيمة V_i/V_c عند القيمة (10) ، نلاحظ ان قيم الزيوغ الكروية واللونية مقبولة وهذا يرجع الى ان توزيع الجهد على الاقطاب وكذلك شكل العدسة يؤثر في شكل المسار وبدوره يؤثر على الخواص البصرية بطول معادلة لابلاس $\nabla^2 U = 0$ حيث U يمثل الجهد الاكتروستاتيكي [12] .

جدول رقم (1) يبين تغير معاملات الزيوغ نسبة الى البعد البؤري وطول العدسة مع نسبة الجهد على التوالي

V_i/V_o	Cs/F	Cc/F	Cs/L	Cc/L
15	3.9	5.6	1.1	1.35
10	6.1	4.3	9.9	1.2

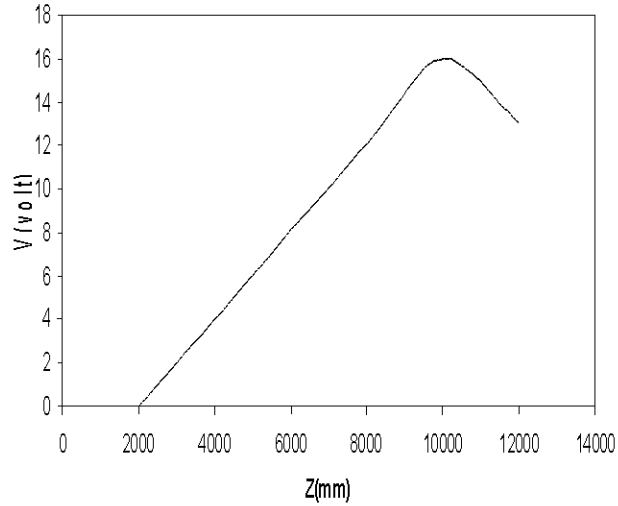
جدول رقم (2) يوضح مقارنة بين نتائج العمل الحالي نتائج الباحثة [13] Intehaa

References	Cs/F	Cc/F
الباحثة انتهاء	10.4	5.67
العمل الحالي	6.9	4.3

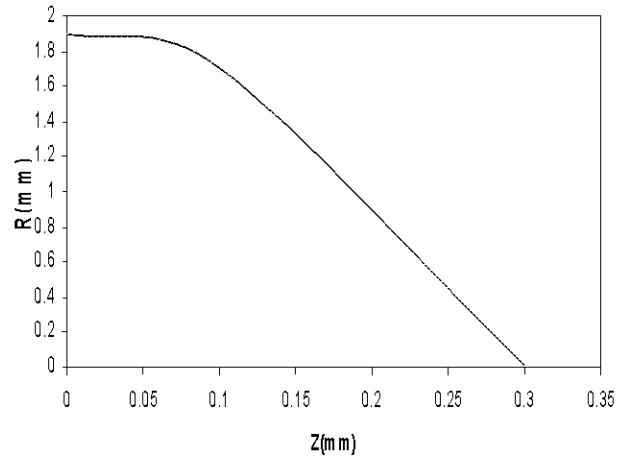
الاستنتاجات:-

البحث يبين تصميم عدسة مغمورة ثلاثية الأقطاب ، الشكل (1) يبين توزيع الجهد المحوري للعدسة من خلال معادلة لابلاس باستخدام طريقة العناصر المحددة (FEM) حيث نلاحظ ان الجهد متماثل في جانبي الجسم والصورة، الشكل (2) يبين مسار الحزمة الاكترونية والتي تم دراستها من حل معادلة الشعاع المحوري والذي يبدأ من جانب الصورة Zi وينتهي بجانب الجسم Zo، الشكل (3) يبين العلاقة بين معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى الجهود المعجلة حيث يقل الزيوغ بزيادة

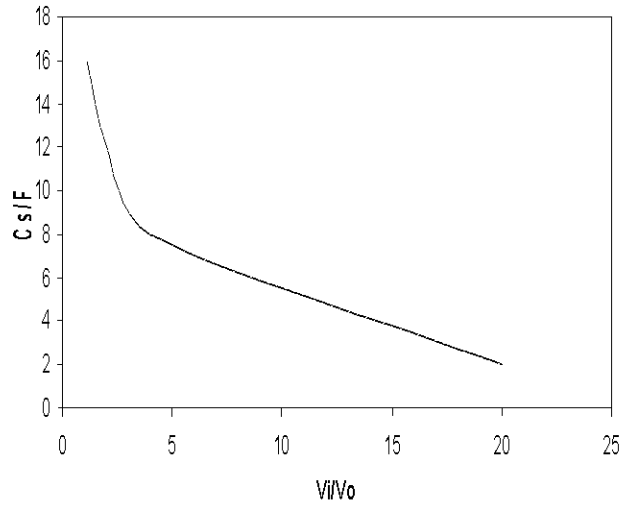
نسب الجهود، الشكل (4) يبين العلاقة بين معاملات الزيوغ الكروية واللونية نسبة الى طول العدسة كدالة انسب الجهود المعجلة حيث نلاحظ انخفاض قيم الزيوغ بزيادة نسب الجهود ، ان شكل العدسة له تأثير كبير على مسار الحزمة وعلى معاملات الزيوغ.



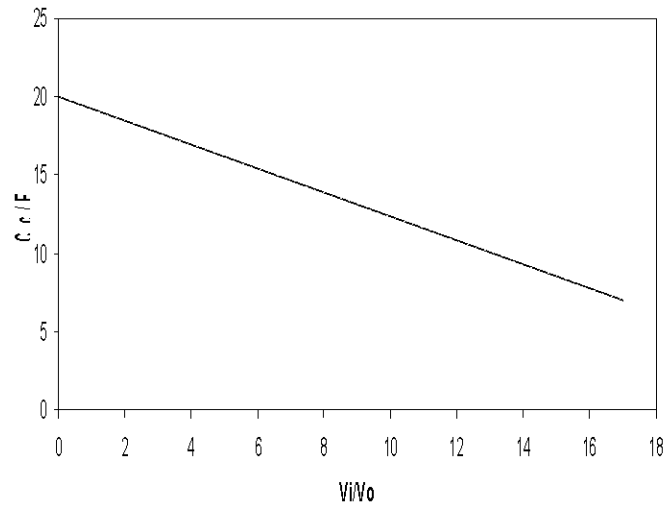
شكل (1) . توزيع الجهد الكهروستاتيكي المحوري $U(z)$ للعدسة المغمورة



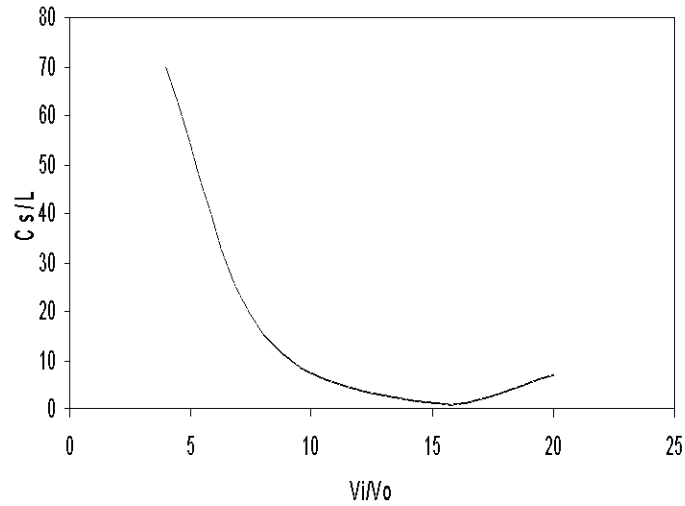
شكل (2) يمثل مسار الحزمة الالكترونية للعدسة المغمورة



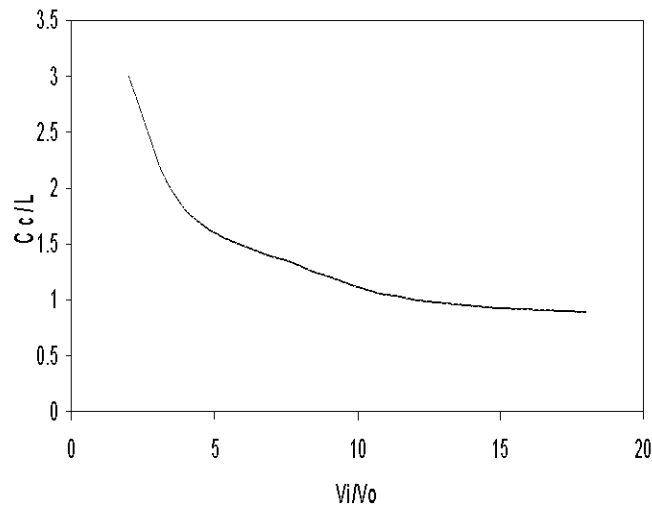
شكل (3) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ الكروي نسبة الى البعد البؤري للعدسة V_0/V_i مع نسب الجهد C_s/F_0



شكل (4) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ اللوني نسبة الى البعد البؤري للعدسة V_0/V_i مع نسب الجهد C_c/F_0



شكل (5) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ الكروي نسبة الى طول العدسة للعدسة C_s/L مع نسب الجهد V_0/V_i



شكل (6) يوضح العلاقة بين معامل الزيغ الكروي نسبة الى طول العدسة للعدسة C_c/L مع نسب الجهد V_0/V_i

المصادر :-

- 1-Zhigarev A. (1975) "Electron optics and electron beam devices " ,(Mir Publisher:Moscow).
- 2- Bakish, R (1962).
Introduction to electron beam technology "Inc. New York" London
- 3- Jon orIoff 2008.Handbook of charged partical optics"
- 4- Szilagy, M., (1988), "Electron and ion .optics"(Plenum press:NewYork).
- 5- Ahmed A.K.(1993) Commputerized investigation on the optimum design and properties of the electrostatic lenses Ph.D. The, sadam University, Baghdad, Iraq.
- 6- Hawkes, P.W. (1972) Electro optics and electron microscopy
"Churchill Colleg, London"
- 7 - Septier A.,(1980),"Applied charged particles optics " , Part A, (Academic Press :New York).
- 8- El-Karch A.B.and El- Karch J.C.J. , (1970), "Electron beam lenses and optics ", Vol. 1 (Academic Press: New York and London).
- 9- Szilagy M. , Yakowitz S. J. and Duff M. o. (1984)," Procedure for electron and ion lens optimization ", Apple. Phys. Lett,Vol.44,No.7 .
- 10- Hawkes P.W. and Kasper E(1989)," "Principles of electron optics", Vol.1(Academic Press : London).
- 11- Polyanin, A. D. (2002). Handbook of Linear Partial Differential Equations for Engineers and Scientists. Boca Raton: Chapman & Hall/CRC Press-
- 12- Intehaa A.M (2002) , "Theoretical design of un electron gun lenses using numericalmethodes P h. M. Thesis education for woman university , Baghdad,Iraq

Design of three-Electrode Immersion Electrostatic Lens

Nada. A. Mohammed*

***Physics department-College of Science for women-Baghdad
University**

ABSTRACT

The present work includes acomputerized investigation has been carried out on the design of three electrodes electrostatic lens with low aberration used in the solution of Laplace equation for determine the axial potential distribution. The paraxial –ray equation was solved to obtain the trajectory of particles that satisfy the suggested potential function.

The electrode shape of the electrostatic lens was the determined from the solution of Laplace equation and plotted in two dimensions. The results showed low values of spherical and chromatic aberrations, which are considered as good criteria for good design